ANNEE 2007-2008

FACULTE DE PHARMACIE

DATE : MARDI 08 AVRIL 2008

CORRECTION DU SEMINAIRE DE PHYSIQUE N°3

PROGRAMME :

- ✓ ELECTROCINETIQUE
- ✓ OPTIQUE
- ✓ RADIOACTIVITE

Constantes universelles de physique

Constante	Valeur exacte	Approximation
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 299\,792\,458$ $m.s^{-1}$	$c = 3.10^{8}$ $m.s^{-1}$
Constante de Plank	$h = 6{,}626176.10^{-34}$ $J.s$	$h = 6{,}6.10^{-34}$ $J.s$
Charge élémentaire	$e = 1{,}6021892.10^{-19}$ C	$e = 1{,}6.10^{-19}$ C
Masse au repos de l'électron	$m_e = 9{,}109534.10^{-31}$ Kg	$m_e = 9{,}11.10^{-31}$ Kg
Masse au repos du neutron	$m_n = 1{,}675.10^{-27}$ Kg	$m_n = 1{,}68.10^{-27}$ Kg
Masse au repos du proton	$m_p = 1{,}6726485.10^{-27}$ Kg	$m_p = 1{,}67.10^{-27}$ Kg
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6{,}022045.10^{23}$ mol^{-1}	$N_A = 6{,}023.10^{23}$ mol^{-1}
Le Rydberg	$R = 10973732$ m^{-1}	$R = 1{,}097.10^{7}$ m^{-1}
Constante des gaz parfaits	$R = 8{,}314$ $J.mol^{-1}.K^{-1}$	$R = 8{,}31$ $J.mol^{-1}.K^{-1}$
Constante de Boltzmann	$K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}3805941.10^{-23}$ $J.K^{-1}$	$K_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}38.10^{-23}$ $J.K^{-1}$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = 8{,}85419.10^{-12}$ $F.m^{-1}$	$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi 10^{-7} c^2} = 9.10^{-12}$ $F.m^{-1}$
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}$ $H.m^{-1}$	$\mu_0 = 1{,}3.10^{-6}$ $H.m^{-1}$

ELECTROCINETIQUE

1) Réaction acido-basique :

50 mL de soude à 10^{-2} mol.L^{-1} et 50 mL d'acide chlorhydrique à $2,33.10^{-2}$ mol.L^{-1} sont mélangés.

Données : $\lambda°(Na^+) = 50,1.10^{-4}$ S.m².mol^{-1}
$\lambda°(H^+) = 1,46.10^{-2}$ S.m².mol^{-1}
$\lambda°(Cl^-) = 76,3.10^{-4}$ S.m².mol^{-1}

1. Quelle est la conductivité de la solution obtenue ?

		Réactifs				Produit
Etat du système	Avancement (en mol)	OH^-	+	H^+	→	$H_2O_{(l)}$
Etat initial	x = 0	5.10^{-4} mol		$1,165.10^{-3}$ mol		Excès
Etat final	x = x_{max}	0 mol		$6,65.10^{-4}$ mol		Excès

$[Na^+] = 5.10^{-3}$ mol.L^{-1} =5 mol.m^{-3}
$[Cl^-] = 1,165.10^{-2}$ mol.L^{-1} = 11,65 mol.m^{-3}
$[H^+] = 6,65.10^{-3}$ mol.L^{-1} = 6,65 mol.m^{-3}

D'où $\sigma = \lambda_{Na^+} \times [Na^+] + \lambda_{H^+} \times [H^+] + \lambda_{Cl^-} \times [Cl^-]$

Réponse : $\sigma = 0,3466\ S.m^{-1}$

2. En déduire la résistivité de la solution.

$\rho = \frac{1}{\sigma}$

Réponse : $\rho = 2,88\ \Omega.m$

2) Chlorure de sodium en solution :

Une cuve parallélépipédique de section S et de longueur L contient une solution de chlorure de sodium totalement dissocié. La solution a été obtenue en dissolvant une masse m de NaCl (électrolyte fort) tel que m(NaCl) = 0,585g.

Les deux extrémités de cette cuve sont deux électrodes métalliques identiques entre lesquelles on établit une tension $U_{AB} = V_A - V_B$.
On note k^+ la mobilité des cations et k^- la mobilité des anions.

Remarque : la cuve est totalement remplie.

Données : L = 10 cm — S = 5 cm² — $k^+ = 5.10^{-8}\ m^2V^{-1}s^{-1}$
UAB = 5 V — M(NaCl) = 58,5 g.mol^{-1} — $k^- = 7.10^{-8}\ m^2V^{-1}s^{-1}$

1. Calculer la valeur du module du vecteur densité de courant dans la cuve.

Le nombre d'ions Na^+ et d'ions Cl^- sont identique au nombre de molécule de NaCl et on le note N :
$N = n \times N_A = \frac{m}{M} \times N_A = \frac{0{,}585}{58.5} \times 6{,}02.10^{23} = 6{,}02.10^{21}$ ions.
La concentration est alors : $n = \frac{N}{S \times L} = 1{,}204.10^{26}$ ions.m^{-3}.
On obtient le champ électrique par la relation : $E = \frac{U_{AB}}{L} = 50$ V.m^{-1}

D'où $\left\|\vec{j}\right\| = n \times e \times \left\|\vec{E}\right\| \times \left(k^+ + k^-\right) = 1{,}204.10^{26} \times 1{,}6.10^{-19} \times 50 \times \left(5.10^{-8} + 7.10^{-8}\right)$

Réponse : $\left\|\vec{j}\right\| = 115{,}6$ A.m^{-2}

2. En déduire la valeur du courant qui la traverse.

$i = j \times S = 115{,}6 \times 5.10^{-4}$

Réponse : $i = 58$ mA

3. Déterminer la résistivité de l'électrolyte.

$\rho = \frac{R \times S}{L} = \frac{U \times S}{I \times L}$

Réponse : $\rho = 0{,}43$ Ω.m

4. Quelle est la vitesse de déplacement des deux types d'ions.

On utilise la formule $v = k \times E = \frac{k \times U}{L}$

Réponse : $v^+ = 2{,}5.10^{-6}$ m.s^{-1} et $v^- = 3{,}5.10^{-6}$ m.s^{-1}

3) Conductivité dans un solide conducteur :

Un fil d'aluminium (masse molaire atomique : 27 $g.mol^{-1}$; masse volumique : 2,7 $g.cm^{-3}$) de diamètre 1 mm est parcouru par un courant de 5 A.

1. Sachant que chaque atome libère un électron de conduction, déterminer le nombre de porteurs de charges par unité de volume.

La masse de 1 cm^3 est de 2,7 g soit 0,1 mole donc on $6{,}02.10^{22}$ atomes par cm^3.
Un électron est donné par un atome on a donc $6{,}02.10^{22}$ $électrons.cm^{-3}$.

Réponse : $n = 6{,}02.10^{22}$ $électrons.cm^{-3}$.

2. Calculer la vitesse d'ensemble de déplacement des électrons de conduction.

$$v = \frac{I}{n \times S \times e} = \frac{5}{6{,}02.10^{28} \times (\pi * (10^{-3} / 2)^2 \times 1{,}6.10^{-19}}$$

Réponse : $v = 6{,}6.10^{-4}$ $m.s^{-1}$

3. Pour une différence de potentiel appliquée entre deux sections du fil distantes de 10 mètres de 120 volts, calculer la mobilité électronique k.

$$k = \frac{v}{E} = \frac{v}{U/d} = \frac{6{,}6.10^{-4}}{120/10}$$

Réponse : $k = 5{,}5.10^{-5}$ $m^2.V^{-1}.s^{-1}$

OPTIQUE

I – Effet photoélectrique :

Soit une source lumineuse ponctuelle S émettant une puissance de 1mW. La lumière est monochromatique et les photons ont une longueur d'onde dans le vide de 500 nm.

Une cellule photoélectrique, de surface 10 cm^2, est située à 1 mètre de la source.
Le rendement quantique de la cellule est de 1%.
Le potentiel d'extraction est de 1,78 V.

1. Calculer l'énergie en eV d'un photon.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}6.10^{-34} \times 3.10^{8}}{500.10^{-9}} = 3{,}96.10^{-19}\ \text{J} = 2{,}48\ \text{eV}$$

Réponse : $E = 3{,}96.10^{-19}\ \text{J} = 2{,}48\ \text{eV}$

2. Calculer la longueur maximale des photons pour avoir l'effet photoélectrique.

Si le potentiel d'extraction est de 1,78 V, il faut donc que le photon incident est au minimum une énergie initiale de 1,78 eV.

$$\text{Or, } E = \frac{hc}{\lambda} \geq 1{,}78\ \text{eV} \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{1{,}78 \times 1{,}6.10^{-19}} = 695\ \text{nm}$$

Réponse : $\lambda \leq 695\ \text{nm}$

3. Calculer l'énergie cinétique des électrons émis

Il y a conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique :
$E_{cinétique} = E_{photon} - W = 2{,}48 - 1{,}78$

Réponse : $E_{cinétique} = 0{,}70\ \text{eV} = 1{,}12.10^{-19}\ \text{J}$

4. En déduire leur vitesse.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}12.10^{-19}}{9{,}1.10^{-31}}}$$

Réponse : $v = 4{,}96.10^{5}\ \text{m.s}^{-1}$

5. En déduire leur longueur d'onde

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{0{,}7 \times 1{,}6.10^{-19}} = 1\ 775\ \text{nm}$$

Réponse : $\lambda = 1\ 775\ \text{nm}$

6. Calculer le courant de saturation.

La puissance est un débit d'énergie : énergie reçue ou émise par unité de temps (en $J.s^{-1}$).

L'énergie est émise uniformément sur une sphère de surface $S = 4\pi R^2 = 4\pi \times 100^2 = 4\pi.10^4\ cm^2$.
Pour une surface de $4\pi.10^4\ cm^2$, on a un courant de 1 mJ.
Donc, par proportionnalité, une surface de $10\ cm^2$ correspond à un courant de 7,96.10-8 J.

1 photon a une énergie de $E = 3{,}96.10^{-19}\ J = 2{,}48\ eV$; donc une énergie incidente de 7,96.10-8 J correspond à 2.1011 photons.
Le rendement de la cellule étant de 1%, on aura donc 2.109 électrons par seconde.

D'où $I = 2.10^9 \times 1{,}6.10^{-19} = 3{,}2.10^{-10}\ A$

<u>Réponse :</u> $I = 3{,}2.10^{-10}\ A$

7. Calculer la contre tension.

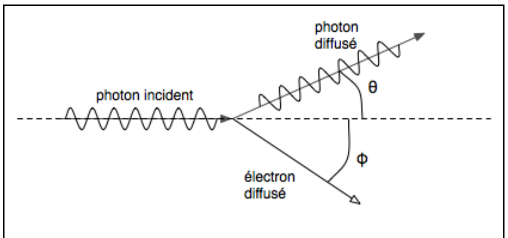
La contre tension est la tension pour annuler l'énergie cinétique des électrons afin d'éviter l'effet photoélectrique.
Ici l'énergie cinétique des photons vaut 0,7 V, la tension à appliquer sera donc de 0,7 V.

<u>Réponse :</u> $U_C = 0{,}7\ V$

II – Effet Compton (1923) :

Soit un électron de longueur d'onde λ arrivant sur un électron au repos.
On appelle θ l'angle du photon diffusé avec la direction du photon incident et φ l'angle de l'électron en mouvement.

1. Exprimer la loi régissant l'effet Compton et faire un schéma illustrant l'effet Compton.



Diffusion Compton: Collision d'un photon avec un électron au repos

$$\boxed{\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta) = \frac{2h}{m_e c}\sin^2\frac{\theta}{2} = \frac{\lambda_c}{2}\sin^2\frac{\theta}{2}}$$

Réponse : Voir cours ci-dessus.

Le détecteur de photons est à 45° de l'horizontal.
Les photons incidents ont une énergie de 75 keV.

2. Calculer la longueur d'onde λ' des photons diffusés.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda_{incident} = \frac{hc}{75.10^3 \times 1{,}6.10^{-19}} = 1{,}65.10^{-11}\ \text{m}$$

$$\lambda_{diffusé} = \lambda_{incident} + \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$$

Réponse : $\lambda_{diffusé} = 1{,}76.10^{-11}\ \text{m}$

3. En déduire l'énergie E' des photons diffusés.

$$E' = \frac{hc}{\lambda_{diffusé}}$$

Réponse : $E' = 1{,}13.10^{-14}\ \text{J} = 70{,}3\ \text{KeV}$.

4. Calculer l'énergie cinétique Ec des électrons.

Avec la conservation de l'énergie cinétique, on a $E_c = E - E'$

Réponse : $E_c = 4{,}7\ \text{KeV} = 7{,}52.10^{-16}\ \text{J}$

5. En déduire la vitesse v des électrons.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2\times 7{,}52.10^{-16}}{9{,}1.10^{-31}}}$$

Réponse : $v = 4{,}1.10^7\ \text{m.s}^{-1}$

III – Rayons X et atténuations :

Soit une couche de plomb (de numéro atomique 82) de CDA = 1 mm.

1. Déterminer l'énergie nécessaire pour exciter un atome de Plomb à partir de son niveau fondamental.

$$E = E_0 \times Z^2$$
$$E = 13{,}6 \times 82^2$$

Réponse : $E = 91{,}5 \text{ keV}$

2. Déterminer les longueurs d'ondes des rayons X correspondants aux transitions L→K et M→L.

Pour la raie K, c'est une transition de n = 2 vers n = 1 :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = E \times \left(\frac{1}{{n_1}^2} - \frac{1}{{n_2}^2}\right) = 91446\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = 68{,}6 \text{ keV}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6{,}6.10^{-34} \times 3.10^8}{68.6 \times 10^3 \times 1{,}6.10^{-19}} = 1{,}8.10^{-11} \text{ m}$$

Pour la raie L, c'est une transition de n = 3 vers n = 2 :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = E \times \left(\frac{1}{{n_1}^2} - \frac{1}{{n_2}^2}\right) = 91446\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 12{,}7 \text{ keV}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6{,}6.10^{-34} \times 3.10^8}{12{,}7 \times 10^3 \times 1{,}6.10^{-19}} = 9{,}7.10^{-11} \text{ m}$$

Réponse : $\lambda_{L \to K} = 1{,}8.10^{-11} \text{ m}$ et $\lambda_{M \to L} = 9{,}7.10^{-11} \text{ m}$

3. Calculer le coefficient d'atténuation linéique du Plomb.

$$\mu = \frac{\ln 2}{CDA} = \frac{\ln 2}{1}$$

Réponse : $\mu = 693 \text{ m}^{-1}$

4. Quelle doit être l'épaisseur du Plomb pour atténuer de 100 un faisceau de rayons X.

$$\frac{\phi_0}{100} = \phi_0 \exp(-\mu \times x_{100}) \Leftrightarrow x_{100} = \frac{\ln 100}{\mu}$$

Réponse : $\mu = 6{,}64 \text{ mm}$

IV – Spectrophotométrie :

L'absorptivité molaire de l'adénine dans HCl à 0,1 mol.L^{-1} est de 1,34.10^{4} L.mol^{-1}.cm^{-1}. pour son maximum d'absorption à λ = 262 nm.

Soit une cuve cubique de 1 cm d'épaisseur contenant une solution à 0,2.10^{-6} g.mL^{-1} d'adénine dans HCl à 0,1 mol.L^{-1}, traversée par un faisceau de longueur d'onde λ = 262 nm.

1. Quel est le pourcentage de lumière absorbée par la solution ? La masse molaire de l'adénine est de 135 g.mol^{-1}.

La cuve fait 1 cm^3 de volume, elle possède dont 1 mL de solution.

D'où $C = \dfrac{0{,}2.10^{-6}}{135} = 1{,}5.10^{-9}\ \text{mol.mL}^{-1} = 1{,}5.10^{-6}\ \text{mol.L}^{-1}$

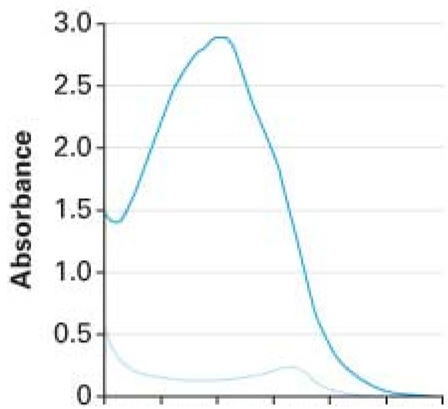
D'où $A = \varepsilon_{\lambda} \times l \times C = 1{,}34.10^{4} \times 1 \times 1{,}5.10^{-6} = 0{,}0201$

D'où $\dfrac{I_0}{I} = 10^{-A} = 0{,}955$

Réponse : 4,5 % absorbés.

2. La longueur d'onde du faisceau incident est déplacé à λ' = 270 nm. Que devient l'absorbance de la solution en supposant que les autres conditions expérimentales restent identiques ? Expliquez votre réponse.

L'adénine absorbe au maximum à 262 nm. Si on se place à côté du pic, la, solution absorbera donc moins le faisceau incident.



Réponse : L'absorbance diminue.

V – Diffraction et réseau :

Un réseau par réflexion est éclairé sous incidence normale par une lumière d'une lampe à hydrogène dont le spectre visible contient 4 raies principales H_α, H_β , H_γ , H_δ de longueurs d'onde respectives 656 nm, 486 nm, 434 nm et 410 nm. Sachant que le pas du réseau est égal à 1,5 µm

1. Calculer le nombre n de traits par mm de réseau.

$$n = \frac{1}{d} = \frac{1}{1{,}5.10^{-3}}$$

Réponse : $n = 667 \ \text{traits.mm}^{-1}$

2. Quels sont les ordres de diffraction dans lesquels il est possible d'observer les 4 maximas d'intensité correspondant à ces raies ?

Nous allons calculer les valeurs extrêmes de m pour chaque longueur d'onde : $\frac{-1}{n\lambda} \leq m \leq \frac{1}{n\lambda}$

Pour λ = 410 nm, on trouve -3,7 < m < 3,7.
Pour λ = 656 nm, on trouve -2,2 < m < 2,2.

C'est donc la longueur d'onde de 656 nm qui limite la visualisation des 4 raies simultanément.
On observera les 4 raies pour les ordres -2, -1, 0, 1 et 2.

Réponse : Ordres de -2 à +2.

3. Pour l'ordre k = + 1, quelles sont les valeurs des angles de diffraction correspondant aux maximas d'intensité pour ces 4 raies ?

$$\sin\theta = m \times n \times \lambda = n \times \lambda$$

Pour λ = 656 nm, on trouve θ = 25,9 °.
Pour λ = 486 nm, on trouve θ = 18,9 °.
Pour λ = 434 nm, on trouve θ = 16,8 °.
Pour λ = 410 nm, on trouve θ = 15,9 °.

Réponse : 25,9 °, 18, °, 16,8 ° et 15,9°.

4. Quelles sont dans l'ordre k = + 1, les dispersions angulaires de longueur d'onde de ce réseau aux niveaux des longueurs d'onde H_α, et H_δ ?

$$p = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n.m}{\cos\theta} = \frac{n.m}{\sqrt{1 - \sin^2\theta}} = \frac{n.m}{\sqrt{1 - (n.m.\lambda - \sin i)^2}} = \frac{n.m}{\sqrt{1 - (n.k.\lambda)^2}}$$

Réponse : Pour 656 nm, on trouve $p = 7{,}42.10^{-4}$ rad.nm^{-1}.
Pour 410 nm, on trouve $p = 6{,}93.10^{-4}$ rad.nm^{-1}.

5. Quelle doit être la résolution de ce réseau pour que les maximas d'intensité de 2 raies voisines situées à la limite de l'UV et correspondant aux transitions n = 26 → n = 2, n = 25→ n = 2 soient vues séparément et distinctement (on rappelle que les raies H_α, H_β , H_γ , H_δ correspondent aux transitions n=3→n=2 ; n=4→n=2 ; n=5→n=2, n=6→n=2)

Par définition, $R = \dfrac{\lambda}{\Delta\lambda}$.

On détermine la différence de longueur d'onde à l'aide de la formule : $\Delta E = 13{,}6.\left(\dfrac{1}{n_f{}^2} - \dfrac{1}{n_i{}^2}\right)$.

On convertit ensuite cette énergie en longueur d'onde par la relation $E(eV) = \dfrac{1240}{\lambda(nm)}$.

Il faut bien conserver toutes les décimales dans les calculs car la différence entre les deux longueurs d'onde est faible.

Pour la transition n = 26 → n = 2, on trouve λ = 366,137 nm.
Pour la transition n = 25 → n = 2, on trouve λ = 366,315 nm.

D' où une résolution minimale de $R_{min} = \dfrac{366}{366{,}15 - 366{,}137} = 2056$

Réponse : $R_{min} = 2056$

6. Quelle longueur minimale du réseau en mm doit être éclairée pour que cette séparation soit possible dans l'ordre k = +1 ?

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m.N = m.n.L \Rightarrow L = \frac{R_{mini}}{m.n} = \frac{2056}{1 \times 667} = 3{,}08 \text{ mm}$$

Réponse : $L = 3{,}08$ mm

RADIOACTIVITE

Le carbone 14 est un isotope instable du carbone dont la période est T_{14} = 5730 ans. Il est produit de façon naturelle dans la haute atmosphère par interaction des rayons cosmiques avec des noyaux d'azote 14.

1. Sachant que cette production est accompagnée de celle d'un proton, déterminer quelles sont les particules du rayonnement cosmique qui sont responsables de la création continue sur terre de cet isotope.

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$$

2. Il s'établit ainsi dans l'atmosphère terrestre une concentration d'équilibre C_{eq} = $1,2.10^{-12}$ (noyaux de ^{14}C pour un noyau de ^{12}C), entre la production cosmique et les désintégrations. Tout organisme vivant peut donc fixer cet isotope radioactif par « respiration » de l'atmosphère. Ecrire l'équation de décroissance radioactive β- du ^{14}C.

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu_{e^-}}$$

3. A l'instant t=0 de la mort de l'organisme, l'échange avec l'atmosphère cesse ; ensuite, la concentration c(t) en 14C décroît selon une loi qu'on établira.

$$c(t) = c_{eq}\exp(-\lambda_{14}t)$$

4. En déduire l'âge présumé d'un ossement dont la concentration en ^{14}C serait trois fois inférieure à la concentration c(t) en ^{14}C mesurée dans l'atmosphère.

$$c(\tau) = \frac{c_{eq}}{3} = c_{eq}\exp(-\lambda_{14}\tau) \Leftrightarrow \tau = \frac{\ln 3}{\ln 2}T_{14}$$

<u>Réponse :</u> $\tau = 9080$ ans.

5. Quelle hypothèse (discutable) fait-on dans le calcul de cette datation ?

On a supposé que C_{eq} = cste.
Cela est faux car cela dépend du flux des neutrons solaires.

La datation au Carbone 14 reste valable jusqu'à 10 x T_{14} = 57 300 ans.